

고주파 변성기형 방향성결합기의 특성해석 및 신호분기기의 광대역화에 관한 연구

김동일* · 강효석* · 권해옥* · 류현욱* · 高橋道晴** · 小峰仁**

A Study on Analysis Characteristics of Directional Coupler and Tap-Offs with Wide-Band in High-Frequency Transformer Type

Dong Il Kim* · Hyo-Suk Kang* · Hae-Ok Kwon* · Hyun-Wook Ryu*
Michiharu Takahashi** · H. Komine**

〈 목 차 〉	
요 약	2.3 전송선로의 특성임피던스
1. 서 론	3. 시뮬레이션
2. 변성기형 방향성결합기의 해석	4. 실험결과
2.1 결합선로형 방향성결합기의 이론	5. 결 론
2.2 변성기형 방향성결합기의 해석	

요 약

CATV(Cable Television) 및 MATV(Master Antenna TV)시스템용 신호분기기(Tap-Off)의 광대역설계법을 새로운 방법으로 제안한다. 먼저 결합선로형 방향성결합기의 이론을 도입하여 변성기형 방향성결합기에 적용하여 해석하였다. 제안한 해석방법의 타당성을 입증하기 위하여 시뮬레이션한 결과와 실험결과를 비교 검토하였고, 전송선로의 임피던스를 매칭시켜 반사계수 20dB, isolation 25dB(5~1600 MHz)를 만족하는 신호분기기(14dB)의 광대역화(5~2150 MHz)를 실현하였다.

1. 서 론

1950년대 미국에서 난시청 지역을 해결하기 위하

여 공동안테나(Master Antenna)를 세우고 신호를 배분하는 Community Antenna Television으로 시작한 CATV는 광대역 특성을 이용하여 다양한 방

* 한국해양대학교 전파공학과

** URO電子工業(株)

이 연구는 URO電子工業(株)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

송과 문자 및 정보서비스 기능을 제공하는 등 종합 유선방송(Cable TV)으로 발전했으며, 구미 등 선진국에서는 그 가입율이 점차 증가하고 있으며 각 국가별 가입율은 뉴미디어 정책 등 국내사정에 따라서 크게 차이가 나고 있다.

현재까지 대부분의 TV방송은 시청자가 방송국으로부터 일방적으로 송신된 TV전파를 받아 시청하는 단방향 서비스를 이용해 왔다. 이러한 수신방법에 대해 신기술 발달과 더불어, 초고속정보통신망에 대한 공감대가 형성되어 CATV나 주문형비디오(VOD : Video On Demand) 사업자로 부터 쌍방향으로 전환하려는 움직임이 일어났다. 이러한 VOD 서비스는 가입자들이 시간에 관계없이 특정프로그램을 선택하여 시청할 수 있으며, 마치 VTR을 자유조작하듯이 할 수 있다. 또한 비디오 프로그램 수신뿐만 아니라, 비디오 게임, 홈쇼핑, 홈뱅킹 등 다양한 화상정보를 제공하여 화상정보에 의한 정보통신서비스가 가능하게 된다.

CATV는 기존방송과는 다른 다채널 전문방송으로서 영화, 오락, 뉴스, 다큐멘터리, 스포츠, 교육, 바둑, 홈쇼핑 등 다양한 채널을 통해 정보화시대를 이끌 것이다. 앞으로 CATV는 방송 이외의 부가서비스의 제공으로 화상전화, 인터넷서비스, VOD, 원격교육, 의료 등 CATV를 통해 멀티미디어 서비스를 받을 수 있을 것이다[1]. 이와 같은 CATV 시스템은 급속한 발전을 계속하고 있는 한편, 그 기술적인 요구도 더욱 엄격해져 가고 있다.

CATV 시스템의 중요한 기본소자로는 신호분리기(Tap-Off or Tap Unit) 및 신호분배기(Power Splitter)가 있으며, 이들이 불량할 경우, Ghost 현상이나 화면의 찌그러짐, 전송정보의 손실, 채널확대의 한계 등이 생기게 된다.

최근 신호분리기 회로에 대한 이론해석 및 설계법이 검토된 바 있으나, 실제 제작되어 시판되고 있는 Tap-Off는 특성이 불량하고, 주파수 특성이 일정하지 못하며, 대역폭이 5~600 MHz 이내이다. 이에 따라 정보를 양호하게 전송하는데 문제가 되고 있다. 현재 DBS(Direct Broadcasting Satellite)의 확대와 가입자의 증대, 다채널 영상서비스와 부가정보통신 서비스의 확대에 사용주파수 대역폭이 유럽

의 경우 CATV는 5~770 MHz, DBS는 1035~2150 MHz이고, 일본의 경우는 CATV는 10~770 MHz, DBS는 950~2150 MHz로 확장되었다.

본 논문에서는 새로운 해석법으로 결합선로형 방향성결합기의 완전정합조건인 $Z_0 = \sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o}$ 을 변성기형 방향성결합기에서도 성립되는 것을 확인함으로써 특성이 양호해지는 변성기형 방향성결합기의 조건을 구하고, 반사계수 20dB, isolation 25dB를 만족하는 신호분리기(14dB)의 광대역화(5~2150 MHz)를 실현하였다.

2. 변성기형 방향성결합기의 해석

2.1 결합선로형 방향성결합기의 이론

결합선로형 방향성결합기의 이론을 변성기형 방향성결합기에 적용하기로 한다. 그림 2는 두 축 대칭이지만 변성기형 방향성결합기를 해석하기 위해 한축 대칭으로 해석한다. 그림 3은 Even모드(동상동전압)일 때와 Odd모드(역상동전압)로 각각 여진시켜올때의 등가회로이다.

먼저 입력임피던스는 식(1)과 같이 된다.

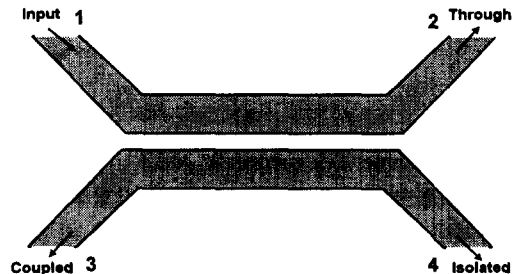


그림 1. 결합선로형 방향성결합기의 구조

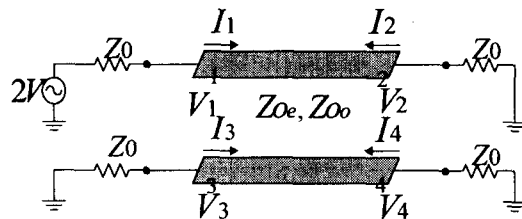


그림 2. 결합선로형 방향성결합기의 등가회로

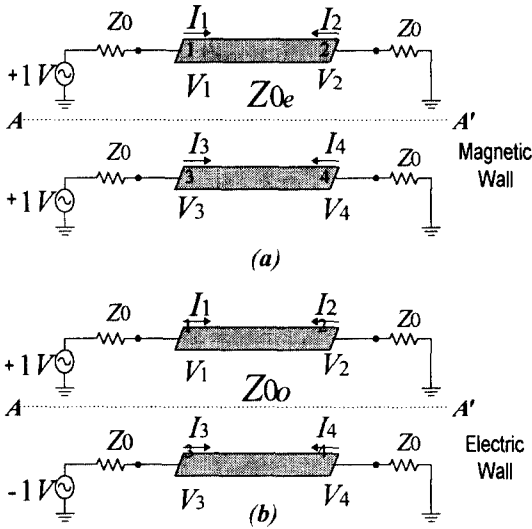


그림 3. Even mode 여진(a)과 Odd mode 여진 (b)시의 등가회로

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{V_{1e} + V_{1o}}{I_{1e} + I_{1o}} \dots\dots\dots (1)$$

$$= Z_0 + \frac{2(Z_{in}^e Z_{in}^o - Z_0^2)}{Z_{in}^e + Z_{in}^o + 2Z_0}$$

여기서,

$$V_{1e} = V \cdot \frac{Z_{in}^e}{Z_{in}^e + Z_0}, \quad V_{1o} = V \cdot \frac{Z_{in}^o}{Z_{in}^o + Z_0}$$

$$I_{1e} = \frac{V}{Z_{in}^e + Z_0}, \quad I_{1o} = \frac{V}{Z_{in}^o + Z_0}$$

이다.

$Z_0 = \sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o}$ 일 때 $Z_{in} = Z_0$ 가 되어 포트1은 정합되며, 대칭성에 의해 모든 포트는 정합되다[2]. 이 결과를 변성기형 방향성결합기에 적용하고자 한다.

2.2 변성기형 방향성결합기의 해석

그림 4는 종래부터 사용되어지고 있는 약결합형 신호분기기의 등가회로이다. 그림 5는 회로의 특성에 크게 영향을 주지 않는 콘덴서를 제거한 변성기형 방향성결합기의 등가회로이다. 그림 6은 우리가 제안한 변

성기형 방향성결합기의 등가회로이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 A-A'를 기준으로 한축 대칭이다. 대칭성을 이용하여 Even과 Odd mode의 경우로 해석을 하면 아래와 같다.

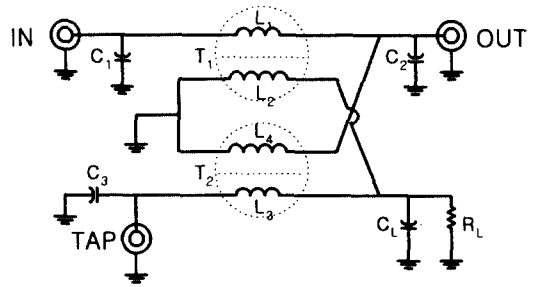


그림 4. 종래의 약결합형 신호분기기

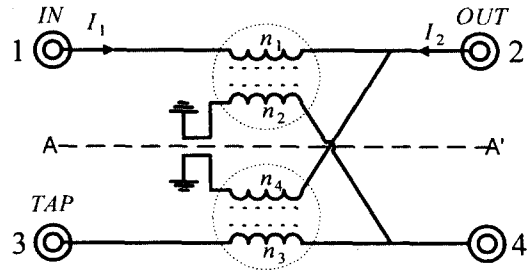


그림 5. 변성기형 방향성결합기의 등가회로

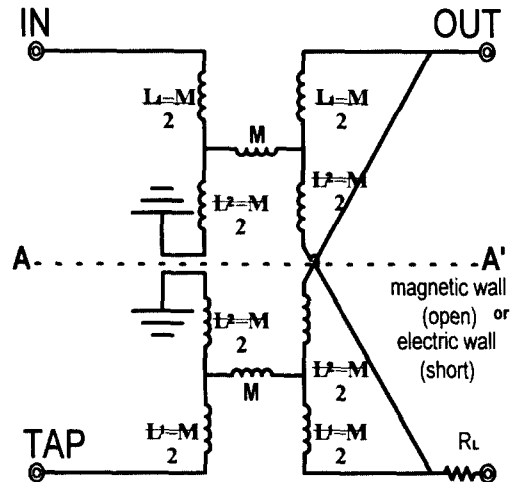


그림 6. 제안한 변성기형 방향성결합기의 등가회로

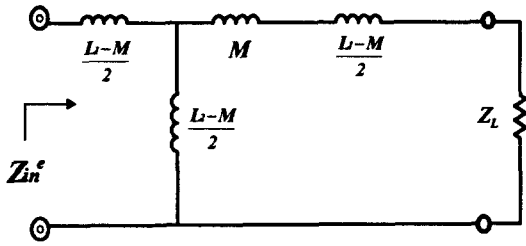


그림 7. Even mode 여진시 등가회로

(1) EVEN모드일 경우

그림 6을 Even mode 여진시 대칭축은 open (magnetic wall)이 되며, 그림 7과 같은 등가회로로 나타내어지고, 입력임피던스 Z_{in}^e 는 식(2)와 같다.

$$Z_{in}^e = \frac{-\omega^2(2L_1L_2 + L_1^2 - 2L_1M - M^2)}{2 \cdot \{j\omega(L_1 + L_2) + 2 \cdot Z_L\}} + \frac{2 \cdot j\omega \cdot Z_L(L_1 + L_2 - 2M)}{2 \cdot \{j\omega(L_1 + L_2) + 2 \cdot Z_L\}} \quad \dots (2)$$

(2) ODD모드일 경우

Odd mode 여진일 때는 대칭축은 short(Electric wall)가 되며, 그림 8과 같은 등가회로가 그려지고, 입력임피던스 Z_{in}^o 는 식(3)과 같다.

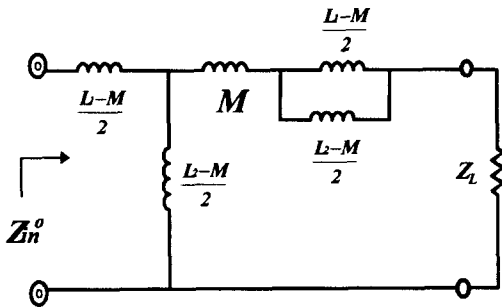


그림 8. Odd mode 여진시 등가회로

$$Z_{in}^o = \frac{j\omega^3(-2L_1L_2^2 + 4L_1L_2M + 2L_1M^2 - 2L_1^2L_2 + 2L_2M^2 - 4M^3)}{-2\omega^2(L_2^2 - 2L_2M - M^2 + 2L_1L_2) + 4 \cdot Z_L \cdot j\omega(L_1 + L_2 - 2M)} + \frac{-2\omega^2 \cdot Z_L(L_1^2 + 2L_1L_2 - 4L_1M - 4L_2M + 4M^2 + L_2^2)}{-2\omega^2(L_2^2 - 2L_2M - M^2 + 2L_1L_2) + 4 \cdot Z_L \cdot j\omega(L_1 + L_2 - 2M)} \quad \dots (3)$$

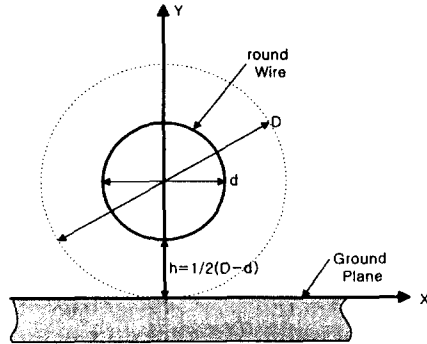


그림 9. 접지판 가까이 원형도선이 있는 전송선로의 구조

이상에서 구해진 Z_{in}^e , Z_{in}^o 를 식(4)에 대입하여 구한 값이 선로의 특성임피던스(75 Ω)와 같으면 포트의 정합이 되므로 여러 변수에 대해 그 값을 시뮬레이션 시켜보았다.

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o} \quad \dots (4)$$

2.3 전송선로의 특성임피던스

그림 9는 접지판위에 높이 h의 간격으로 직경 d인 원형도선이 있는 전송선로의 구조이다. 이 구조는 약결합형 신호분기기를 구성하는 변성기에 연결된 내부 전송선로의 형태이며, 이와 같은 구조로 내부 전송선로를 제작하는 것이 편리하므로 여기서는 이 구조에 대한 특성임피던스를 고찰한다.

여기서, 전송선로의 특성임피던스는 전송선로의 기하학적 구조에 의해 구해지는 값이며, 그림 9와 같은 구조에 대한 특성임피던스 Z_0 와 기하학적 구조의 식은 아래와 같다[3],[4].

$$Z_0 = 60 \cosh^{-1}(D/d) \quad \dots (5)$$

$$D/d = \cosh(Z_0/60)$$

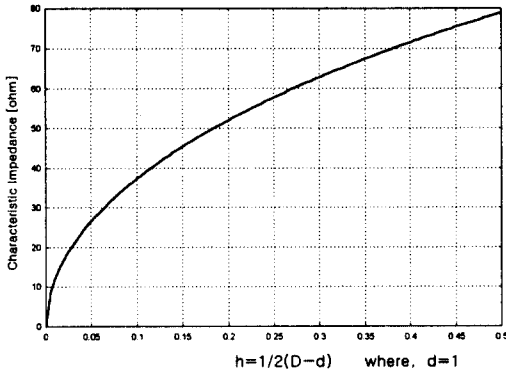


그림 10. 특성임피던스곡선

식 (5)를 이용하여 내부 전송선로의 특성임피던스인 75Ω을 구현하는 높이 h를 구해보면 원형도선의 직경을 1로 할 때, 약 0.444이다. 그림 10은 원형도선의 직경 d가 1일 때 높이 h의 변화에 따른 특성임피던스의 변화를 식 (5)를 이용하여 나타내었다.

3. 시뮬레이션

본 연구에서 Even, Odd mode로 시뮬레이션하기 위해 그림 3에서의 Turn수는 $n_1=0.5, n_2=4.5$ 로 하고, $n_1=n_3, n_2=n_4$ 로 한다. 주파수분산식

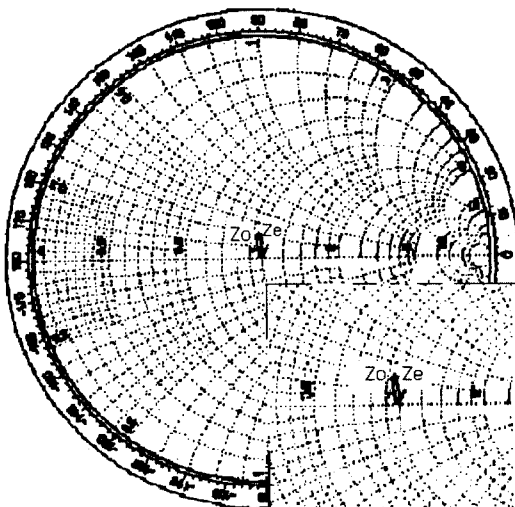


그림 11. Even, Odd 여진시의 입력임피던스의 시뮬레이션 결과

[5]을 이용한 코일의 투자율 μ 는 식(6)과 같다.

$$\mu = 1 + \frac{K}{1 + j \frac{f}{f_m}} \dots\dots\dots (6)$$

단, K는 초투자율, f는 측정주파수, f_m 은 완화주파수이다.

식(6)을 이용해 각각의 권선의 인덕턴스 및 상호인덕턴스는 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} L_1 &= \mu L_0 n_1^2 & L_2 &= \mu L_0 n_2^2 & \dots\dots\dots (7) \\ M &= k \sqrt{L_1 L_2} \end{aligned}$$

단, k는 자기결합계수, L_0 는 페라이트 코어의 기하학적 구조에 의해 정해지는 상수이다.[6] 식(6) 및 (7)을 식(2) 및 식(3)에 대입하여, 시뮬레이션한 결과는 그림 11.과 같으며, $\sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o} \approx Z_0$ 로 각 포트는 정합이 잘 되었음을 보여주고 있다. 또한 산란파라메타도 반사계수 20dB, isolation 25dB를 잘 만족하고 있다.

4. 실험결과

실험에 사용한 코어는 T-314 opw 5-3-3-1H2이며 코일은 0.18mm ϕ 의 굵기를 사용하였다.

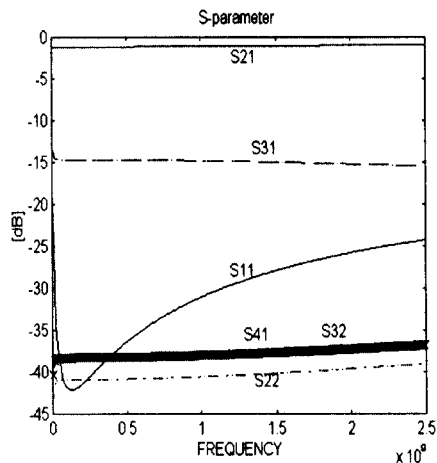


그림 12. 시뮬레이션한 산란파라메타

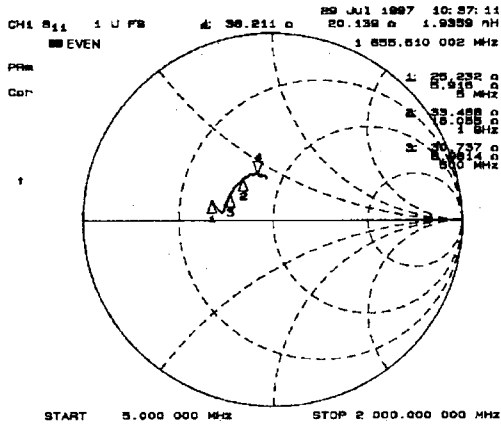


그림 13. Even mode 여진시 입력임피던스의 측정치

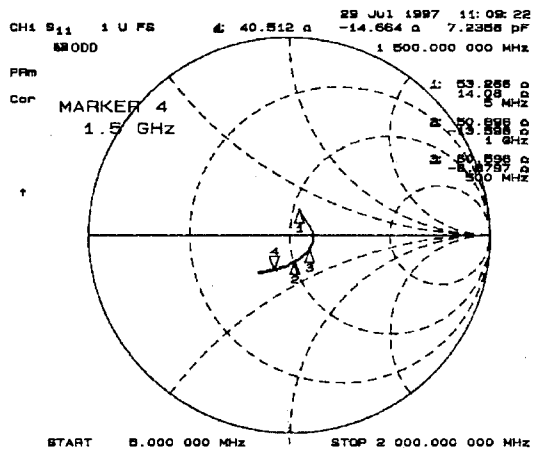


그림 14. Odd mode 여진시 입력임피던스의 측정치

그림 13, 14는 실제 제작된 변성기형 방향성 결합기에서 Even, Odd mode 여진을 시켰을 때 스미스 차트상에 나타낸 것이다.

그림 11과 그림 13, 14가 조금 다르게 나타났지만, 경향은 일치하고 있다. 이는 실제 제작에서 발생하는 인덕턴스와 커패시턴스 성분의 영향인 것으로 사료된다.

그림 13, 14에서 측정된 선로의 특성임피던스가 $Z_0 \approx \sqrt{Z_{in}^e \cdot Z_{in}^o}$ 이 됨을 보여주고 있다. 이는 결합 선로형 방향성결합기의 이론이 변성기형 방향성결합기에도 잘 적용될 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 15는 제작한 변성기형 방향성결합기의 산란파라

메타이고, 격리도(isolation)가 이론치보다 약간 열화되었지만, 주파수 5~2150 MHz에서 spec을 잘 만족함을 알 수 있다. 그림 16은 분기율(14dB)로 제작된 변성기형 방향성결합기이다. 접지판위에 원형 도선으로 전송선로를 구현한 것이다.

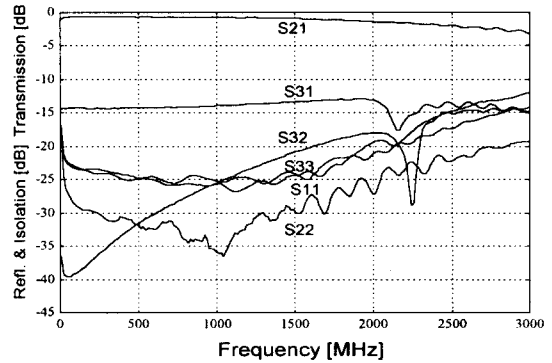


그림 15. 제작된 변성기형 방향성 결합기의 산란파라메타

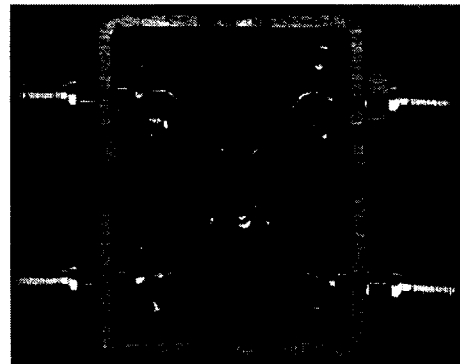


그림 16. 제작된 변성기형 방향성 결합기(14dB)

5. 결 론

본 논문에서는 일반적인 변성기를 회로이론적인 등가회로로 제시하였고, 기존의 변성기형 방향성결합기의 실험, 경험적인 해석을 결합선로형 방향성결합기 이론을 적용하여 새로운 해석법을 제시하였으며, 시뮬레이션을 통해 타당성을 입증하였다. 제작된 변성기형 방향성결합기의 결합도와 격리도가

약간 열화되었는데 이것은 보다 정밀한 제작 (Impedance matching)으로 충분히 극복되리라고 사료된다. 이것이 실현되면 보다 광대역화(2150 MHz 이상)가 실현될 것이다.

참고문헌

- [1] 이상근, "한국CATV기기 산업 및 국산화 현황", 방송공학회지, pp56-64, 6. 1997.
- [2] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, pp425-474, 1990.
- [3] Y. Natio, "Formulation of Frequency Dispersion of Permeability", Trans. IECE, vol. 59-c, pp.297-304, May 1976.
- [4] Harold A. Wheeler, "Transmission-Line Properties of a Round Wire in a Polygon Shield" *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-27, No. 8, August 1979, pp. 717-721,.
- [5] Brian C. Wadell, "Transmission Line Design Handbook" Artech House, Inc. 1991. ch. 3.
- [6] Dong Il Kim, et al., "Optimum Design of the Power Dividers with Ferrite Toroids for CATV and/or MATV Systems", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. CE-29, no. 1, pp.27-38, Feb. 1983.